

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

EP 1 209 500 A2

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
29.05.2002 Patentblatt 2002/22

(51) Int Cl.7: G02B 7/02

(21) Anmeldenummer: 01118866.1

(22) Anmeldetag: 16.08.2001

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE TR  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder: Dieker, Thomas  
89081 Ulm (DE)

(74) Vertreter: Lorenz, Werner, Dr.-Ing. et al  
Lorenz & Kollegen  
Patent- und Rechtsanwaltskanzlei  
Alte Ulmer Strasse 2-4  
89522 Heidenheim (DE)

(30) Priorität: 31.10.2000 DE 10053899

(71) Anmelder: Carl Zeiss  
89518 Heidenheim (Brenz) (DE)

## (54) Vorrichtung zur Lagerung eines optischen Elementes

(57) Eine Vorrichtung zur Lagerung eines optischen Elementes, insbesondere einer Linse, in einer Baugruppe weist einen Trägerkörper 3 mit zwei oder mehr Getriebeelementen 1 auf. Der Trägerkörper 3 ist einerseits mit einer äußeren Tragstruktur 30 und über Fußpunkte 2 mit den Getriebeelementen 1 verbunden. Die Getriebeelemente 1 sind über Kopfpunkte 4 direkt mit dem optischen Element 5 oder indirekt über eine dazwischen angeordnete Fassung 5' mit dem optischen Element 5 verbunden. Die Kopfpunkte 4 der Getriebeelemente 1 befinden sich in Symmetrieebenen des optischen Elementes 5, die durch die axiale Achse und eine radiale

Achse des optischen Elementes 5 aufgespannt sind. Die Getriebeelemente 1 sind so angeordnet und dimensioniert, daß sich bei Störungsseinwirkungen ein Kompensationseffekt hinsichtlich der Deformation der optischen Oberfläche des optischen Elementes 5 ergibt. Der Kompensationseffekt ist dann gegeben, wenn der RMS-Wert der Summe derjenigen Teildeformationen der optischen Oberfläche des optischen Elementes 5, die durch eine axiale, eine radiale Kraft und ein tangential Element an einem beliebigen Kopfpunkt 4 eines Getriebeelementes 1 verursacht werden, um mindestens den Faktor 2 kleiner ist als der größte RMS-Wert einer der drei genannten Teildeformationen.

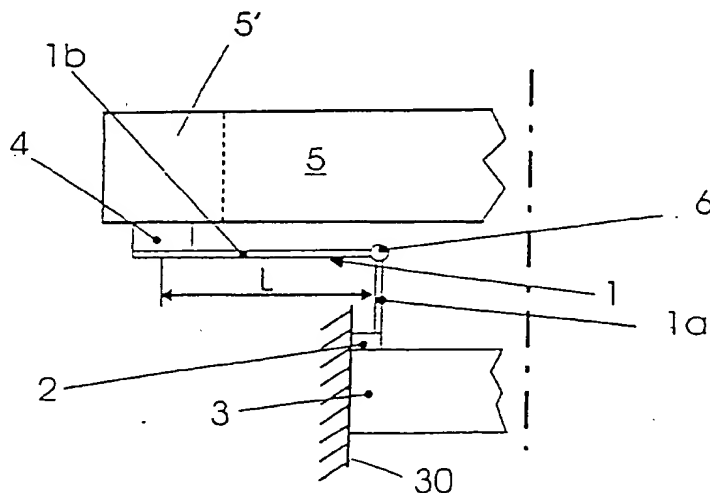


Fig. 3

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Lagerung eines optischen Elementes, insbesondere einer Linse in einer Baugruppe.

[0002] Bekannt sind Fassungstechniken für rotations-symmetrische optische Elemente, bei der das optische Element über eine Anzahl elastischer Elemente mit einem Fassungskörper verbunden ist. Die elastischen Elemente sind z.B. durch Kleben fest im Bereich des äußeren Randes des optischen Elementes mit diesem verbunden und gleichmäßig über den Umfang verteilt. Die elastischen Elemente sind zumeist als sogenannte Federarme mit einem axial und einem radial liegenden Biegeteil ausgeführt. Bei Bewegungen der Fußpunkte der Federarme relativ zum optischen Element, wie sie z.B. bei der Objektivmontage in Folge von Fertigungstoleranzen und Montageungenauigkeiten auftreten, erfährt das optische Element über den Federarm im wesentlichen eine axiale Kraft, eine radiale Kraft und ein tangentiales Moment. Je nach Art der Fußpunkt-bewegung stehen die drei daraus resultierenden Lasten bezüglich Vorzeichen und Betrag in einem anderen Verhältnis zueinander. Außer der Art der Fußpunkt-bewegung ist auch für das Verhältnis zwischen den drei Lasten die Federarmgeometrie und die Werkstoffauswahl bestimmend. Sind die Federarme aus einem linear elastischen Material hergestellt und sind die Formänderungen der Federarme klein, so ist bei gegebenem Lastfall das Verhältnis zwischen den drei Lasten auf das optische Element unabhängig von der Amplitude der Fußpunkt-bewegung.

[0003] Um Deformationen des optischen Elementes aufgrund von Fertigungstoleranzen und Montageungenauigkeiten zu vermeiden ist es z.B. aus der EP 0230277 B1 und der EP 0053463 B1 bekannt eine konstruktive Lagerungsart für das optische Element zu schaffen, durch das die Anbindung zwischen dem optischen Element und der Fassung entsprechend weich gestaltet ist, damit auftretende Lasten soweit wie möglich von dem optischen Element entkoppelt werden können. Ein Problem dabei besteht jedoch darin, daß man z.B. aufgrund der Eigenfrequenzanforderungen die Anbindung nicht zu weich machen kann.

[0004] Zum weiteren Stand der Technik wird noch auf die DE 198 25 716 A1 und die US 5,428,482 verwiesen.

[0005] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde eine Vorrichtung zur Lagerung eines optischen Elementes zu schaffen, wobei sich auftretende Lasten nicht negativ auf das optische Element, insbesondere nicht in Form von Oberflächendeformationen auswirken sollen.

[0006] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die in Anspruch 1 genannten Merkmale gelöst.

[0007] Durch eine erfindungsgemäße Gestaltung der Getriebeelemente und eine entsprechende Wahl der Anbindungsstellen des optischen Elementes oder einer optischen Baugruppe wird bei einem oder mehreren der

drei Lastfälle, also einer axialen Fußpunktverschiebung, einer radialen Fußpunktverschiebung und einer tangentia-len Fußpunktrotation für die axialen Kräfte, radialen Kräfte und die tangentia-len Momente an jedem Anbindungspunkt ein Verhältnis gefunden, bei dem sich die zwei-welligen Anteile der Deformation der optischen Oberfläche des optischen Elementes gegenseitig aufheben. Unter der Annahme, daß die Gesamtsteifigkeiten bei allen konstruktiven Variationen der Getriebeelemente gleich bleiben, erreicht man bei einer vollständigen Kompensation der zwei-welligen Deformationsanteile einen Punkt, bei dem der asphärische Anteil der Deformation als Funktion der Lastenverhältnisse nahe bei einem Minimum liegt. Durch kleine Korrekturen in dem durch die Getriebeelemente bereitgestellten Lastverhältnis kann dann leicht das Minimum der asphärischen Deformation gefunden werden.

[0008] Eine auf diese Weise erfindungsgemäß ausgeführte Lagerung vermindert die Übertragung von Verformungen der Fußpunktebene, welche bei Linsen meist ein Fassungsring ist, auf das optische Element gegenüber einer Lagerung mit einer Federarmfassung bekannter Art mit ähnlich großen Steifigkeiten um ein bis zwei Größenordnungen.

[0009] Durch die beschriebene Art der Lagerung können außerdem Deformationen minimiert werden, die durch Lagerreaktionen hervorgerufen werden, welche mit Beschleunigungskräften, wie z.B. der Gewichtskraft, im Gleichgewicht stehen. Mit anderen Worten bedeutet dies, daß beschleunigungsbedingte Deformationen der optischen Oberfläche ebenfalls minimiert werden.

[0010] Für den Kompensationsmechanismus ist es erfindungsgemäß erforderlich, daß die zwei-welligen Teildeformationen, die durch die axialen Kräfte, radialen Kräfte und die tangentia-len Momente an den einzelnen Anbindungsstellen hervorgerufen werden, die gleiche Winkelorientierung besitzen. Hierzu müssen alle Getriebeelemente in einer Symmetrieebene des optischen Elementes liegen. Dies ist bei Linsen an jedem Punkt gegeben, bei optischen Elementen mit nicht-runder Außenkontur muß für die Lagerung eine ausreichende Anzahl von Symmetrieebenen vorhanden sein.

[0011] Durch Analysen an Modellen, wie z.B. einer Finite-Elemente-Analyse, des optischen Elementes oder mit Hilfe geeigneter Messungen an einem realen optischen Element kann für jede Anbindungsstelle ermittelt werden, wie sich dort eingeleitete axiale und radiale Kräfte und tangentiale Momente auf die optische Oberfläche auswirken. So kann z.B. eine Zernike-Analyse die Sensitivität der zwei-welligen Deformation der optischen Oberfläche auf die jeweils eingeleitete Last liefern. Mit Hilfe der so ermittelten Sensitivitäten können für jede Anbindungsstelle ein oder mehrere Verhältnisse der drei Lasten zueinander bestimmt werden, bei dem der gewünschte Kompensationseffekt auftritt.

[0012] Die erfindungsgemäße Lösung sind somit Anbindungselemente bzw. Getriebeelemente, die für eine oder mehrere Arten von Fußpunkt-bewegungen ein ge-

eignetes Verhältnis für die Kompensation der zwei-wel-ligen Deformationsanteile bereitstellen und als mecha-nische Federgelenkgetriebe ausgeführt werden kön-nen. Das optische Element, z.B. eine Linse, kann ent-weder direkt mit den Getriebeelementen oder indirekt über eine dazwischen angeordnete Fassung verbunden sein.

[0013] Erfindungsgemäß werden nicht die auf das op-tische Element oder die Fassung wirkenden Kräfte kom-pensiert, sondern die durch diese Kräfte verursachten Teildeformationen auf der optischen Oberfläche. So wie die Kräfte in den Anbindungsstellen zum optischen Ele-ment bzw. zum gefaßten optischen Element definiert sind, nämlich als axiale Kraft, radiale Kraft usw. können sie sich zwar nicht gegenseitig aufheben, da sie ortho-gonal sind, aber jede der sechs einzelnen Lasten ver-ursacht je Anbindungsstelle eine Teildeformation auf der optischen Oberfläche. Diese Teildeformationen sind nicht mehr orthogonal, sondern zum Teil hochgradig gleichgerichtet. Erst diese Gleichrichtung liefert die Ba-sis für die Möglichkeit der Kompensation.

[0014] Um exakt reproduzierbare Ergebnisse zu er-zielen, sollten die Getriebeelemente Streben, Gelenke und/oder Blattfedern aufweisen, wobei die Gelenke spielfrei und ohne Rastmomente sein sollen. Vorzugs-weise kann man hierfür Festkörpergelenke verwenden.

[0015] Der Kompensationseffekt ist erfindungsgemäß für Störungen vorgesehen, welche zu einer Verän-derung der relativen Position und Orientierung der Fußpunkte der Getriebeelemente führen. Gleiches gilt auch für Veränderungen der Anbindungslasten in den Kopfpunkten der Getriebeelemente, die durch Be-schleunigungen hervorgerufen werden.

[0016] Besonders vorteilhafte Ergebnisse werden er-zielt, wenn das Durchmesser/Dickenverhältnis des op-tischen Elementes größer als 2:1 ist.

[0017] Bei einem mit einer Fassung versehenen op-tischen Element sollten in vorteilhafter Weise die Anbin-dungen des optischen Elementes an die Fassung im Bereich zwischen dem äußeren Durchmesser und der Hälfte des äußeren Durchmessers des optischen Ele-mentes liegen.

[0018] Die jeweils durch axiale Kräfte, radiale Kräfte und tangential Momente (Einzellasten) hervorgerufe-nen Deformationsverteilungen müssen hinsichtlich ihrer charakteristischen örtlichen Verteilung sehr ähnlich sein, weil dies Voraussetzung dafür ist, mittels geeigne-ter Getriebeelemente einen Kompensationseffekt errei-chen zu können.

[0019] Je weiter außen die Anbindungsstelle liegt, des-to ähnlicher werden sich die Deformationsverteilungen der jeweiligen Einzellasten einer Anbindungsstelle und desto besser läßt sich ein Kompensationseffekt errei-chen. Rückt die Anbindungsstelle sehr weit nach innen, so sind sich die Deformationsverteilungen der Einzellas-ten ab einer gewissen Grenze so unähnlich, daß eine effektive Kompensation nicht mehr möglich ist.

[0020] Vorteilhafte konstruktive Ausgestaltungen der

Erfindung ergeben sich aus den weiteren Unteransprü-chen und aus den nachfolgend anhand der Zeichnung prinzipmäßig beschriebenen Ausführungsbeispielen.

[0021] Es zeigt:

- |    |          |   |
|----|----------|---|
| 5  | Figur 1  | Prinzipdarstellung eines elastischen Anbin-dungselementes als Federarm,   |
| 10 | Figur 2a | einen Lastfall mit einer axialen Fußpunkt-verschiebung mit den Hauptlasten,   |
|    | Figur 2b | einen Lastfall mit einer radialen Fußpunkt-verschiebung mit den Hauptlasten,  |
| 15 | Figur 2c | einen Lastfall mit einer tangentialen Rotati-on mit den Hauptlasten,  |
| 20 | Figur 3  | eine erste Ausführungsform eines Getrie-beelementes mit einem winkelförmigen Fe-derarm,   |
|    | Figur 4  | eine zweite Ausführungsform eines Getrie-beelementes mit zwei Streben,  |
| 25 | Figur 5  | eine weitere Ausführungsform eines Getrie-beelementes mit zwei schrägen Streben und einer gemeinsamen Anbindung an ei-nem optischen Element,                                    |
| 30 | Figur 6  | eine Ausführungsform eines Getriebe-elementes mit zwei schräg verlaufenden Streben und einer gemeinsamen Strebe zur Anbindung an einem optischen Element,                       |
| 35 | Figur 7  | zwei zusätzliche Getriebeelemente zwi-schen Trägerkörper und optischem Ele-ment zur Erhöhung der Steifigkeit von late-ralen Schiebebewegungen,                                  |
| 40 | Figur 8  | drei zusätzliche Getriebeelemente zwi-schen einem Trägerkörper und einem op-tischen Element zur Erhöhung der Steifigkeit von lateralen Verschiebewegungen und axialer Rotation, |
| 45 | Figur 9  | ein Getriebeelement, das mit zusätzlichen Blattfedern versehen ist,   |
|    | Figur 10 | den Kraftverlauf bei einer Ausführungsform nach Figur 9, und  |
| 50 | Figur 11 | ein Getriebeelement mit zusätzlichen Dreh-gelenken mit radialen Drehachsen.   |

55 [0022] Die Figur 1 zeigt in einer Prinzipdarstellung die Federbeingeometrie eines Getriebeelementes 1, das mit einer axial liegenden Biegefeder 1a und einer radia-len Biegefeder 1b ausgeführt ist und damit eine Winkel-

form bildet. Mehrere gleichmäßig über den Umfang verteilt angeordnete Getriebeelemente 1 sind an einem Ende jeweils über Fußpunkte 2 mit einem Trägerkörper 3 verbunden. Der Trägerkörper 3 ist in einer nicht näher dargestellten Art mit einer äußeren Tragstruktur 30 bzw. einer Baugruppe verbunden, die z.B. ein Objektiv für eine Halbleiter-Lithographie-Belichtungsanlage bildet. Am anderen Ende des Getriebeelementes 1 erfolgt jeweils über die radial liegende Biegefeder 1b über einen Kopfpunkt 4 eine Anbindung an ein optisches Element 5, das bei den nachfolgend besprochenen Ausführungsbeispielen eine Linse ist.

[0023] In den Figuren 2a, 2b und 2c sind die verschiedenen Lastfälle und daraus resultierende Hauptlasten auf das optische Element 5 ersichtlich. In Figur 2a ist als Lastfall 1 eine axiale Verschiebung des Fußpunktes 2 dargestellt. Aus der unteren Darstellung von Fig. 2a sind die Lasten im Kopfpunkt 4 bzw. an der Anbindungsstelle zu dem optischen Element 5 ersichtlich.

[0024] Figur 2b zeigt einen Lastfall 2 mit einer radialen Verschiebung des Fußpunktes 2, wobei wiederum in der unteren Darstellung der Figur 2b die dazugehörigen Hauptlasten im Kopfpunkt 4 bzw. an der Anbindungsstelle zu dem optischen Element 5 dargestellt sind.

[0025] Figur 2c zeigt als Lastfall 3 eine tangential Rotation im Bereich des Fußpunktes 2. Auch hier sind in der unteren Darstellung der Figur 2c die daraus resultierenden Hauptlasten im dazugehörigen Kopfpunkt 4 bzw. an der Anbindungsstelle des optischen Elementes 5 ersichtlich.

[0026] Die dargestellten Lastfälle 1, 2 und 3 und die damit verbundenen Kräfte und Momente auf das optische Element 5 führen zu einer Deformation der optischen Oberfläche des optischen Elementes. Wenn man die Deformation mit Hilfe des Zernike-Polynoms beschreibt, so stellt man fest, daß ein wesentlicher Anteil auf Terme entfällt, die zusammen die sogenannte Zwei-Welligkeit bilden. Betrachtet man nun diejenigen Deformationen, die auf die axialen Kräfte, radialen Kräfte und tangentialen Momente auf das optische Element zurückgehen getrennt, so stellt man fest, daß bei allen drei Teildeformationen der zwei-wellige Anteil der jeweiligen Deformation sehr ausgeprägt ist. Alle Zwei-Welligkeiten haben gleiche winklige Orientierung und unterscheiden sich ansonsten nur im Vorzeichen und im Betrag.

[0027] In den Figuren 3 bis 9 sind prinzipmäßig verschiedene Getriebeelemente 1 dargestellt, die so angeordnet und dimensioniert sind, daß sie bei den vorstehend erwähnten Störungseinwirkungen ein Kompensationseffekt hinsichtlich der Deformation der optischen Oberfläche des optischen Elementes 5 ergeben. Der Kompensationseffekt ist dabei dann gegeben, wenn der RMS-Wert (root means square) der Summe derjenigen Teildeformationen der optischen Oberfläche des optischen Elementes 5, die durch eine axiale, eine radiale Kraft und ein tangential Moment an einem beliebigen Kopfpunkt 4 eines Getriebeelementes 1 verursacht werden, um mindestens den Faktor 2 kleiner, vorzugsweise

kleiner 4, ist als der größte RMS-Wert einer der drei genannten Teildeformationen. Dies gilt für einen Kombinationseffekt für Störungen, welche zu einer Veränderung der relativen Position und Orientierung der Fußpunkte der Getriebeelemente führen und auch für Änderungen der Anbindungslasten in den Kopfpunkten der Getriebeelemente, die durch Beschleunigungen, wie z.B. Gewichtskräfte, hervorgerufen werden.

[0028] Die Figur 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel mit einem Getriebeelement 1, das über einen Fußpunkt bzw. Anbindungsstück 2 mit dem Trägerkörper 3 durch eine Strebe bzw. Blattfeder 1a, welche axial ausgerichtet ist, verbunden ist. Am anderen Ende der Strebe 1a ist ein Gelenk 6 mit tangentialer Drehachse angeordnet. Eine zweite Strebe 1b bzw. Blattfeder mit radialer Ausrichtung ist an einem Ende mit dem Gelenk 6 und am anderen Ende am Kopfpunkt 4 bzw. Anbindungsstück mit dem optischen Element 5 verbunden. Im Unterschied zum Stand der Technik erstreckt sich dabei die Strebe 1b radial von ihrer Verbindung mit der Strebe 1a bzw. dem Gelenk 6 von innen nach außen. Anstelle einer Anbindung direkt an die Linse 5 kann die Anbindung der Strebe 1b auch an eine Fassung 5' (gestrichelt angedeutet) erfolgen. Gleiches gilt im übrigen auch für die nachfolgend noch zu beschreibenden Ausführungsformen.

[0029] Die Figur 4 zeigt eine Strebe 1a des Getriebeelementes 1, die unter einem Winkel  $\alpha$ , der zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  liegt, zu einer Ebene mit axialer Fläche normal ausgerichtet ist. Die Strebe 1a ist an ihrem Fußpunkt 2 an ein Fußpunktgelenk 7 angelenkt und über ein Anbindungsstück mit dem Trägerkörper 3 verbunden. An dem von dem Fußpunkt 2 abgewandten Ende der Strebe 1a befindet sich ein zweites Gelenk 8, das mit einer zweiten axial ausgerichteten Strebe 1b verbunden ist. Das Fußpunktgelenk 7 besitzt eine tangential Drehachse und das Gelenk 8 ist mit einer tangentialen Drehachse versehen. Die Strebe 1b ist an ihrem von dem zweiten Gelenk 8 abgewandten Ende mit ihrer axialen Ausrichtung am Kopfpunkt 4 bzw. über ein Anbindungsstück mit dem optischen Element 5 verbunden.

[0030] In der Figur 5 ist ein Ausführungsbeispiel dargestellt, das aus zwei spiegelbildlich zueinander angeordneten Getriebeelementen 1 und 1' besteht. Wie ersichtlich stellt diese Ausführungsform eine "Verdoppelung" des in der Figur 4 dargestellten Ausführungsbeispiels dar, wobei die beiden axial verlaufenden Streben 1b und 1'b an einem gemeinsamen Kopfpunkt bzw. Anbindungsstück 4 zur Verbindung mit dem optischen Element 5 enden.

[0031] Wie ersichtlich ist das zweite Getriebeelement 1' dem ersten Getriebeelement 1 gespiegelt gegenüber angeordnet, wobei die Spiegelungsebene eine axiale Flächennormale besitzt. Die beiden Getriebeelemente 1 und 1' bilden auf diese Weise ein Viergelenk, bei dem der Momentanpol der Bewegung des Kopfpunktes bzw. Anbindungsstückes 4 in einer Ebene liegt, die eine axiale Flächennormale besitzt und die auf der Höhe des

Kopfpunktes 4 liegt. (Gemeint ist dabei diejenige Bewegung des Kopfpunktes bzw. Anbindungsstückes 4, wenn das optische Element oder die Fassung 5' des optischen Elementes 5 noch nicht adaptiert ist.)

[0032] In der Figur 6 ist ein Ausführungsbeispiel beschrieben, wobei zwei Fußpunkte bzw. Anbindungsstücke 2 und 2a an dem Trägerkörper 3 vorgesehen sind. Ebenso wie bei den Ausführungsbeispielen nach den Figuren 4 und 5 verlaufen die Streben 1a und 1'a unter einem Winkel  $\alpha_1$ , der zwischen 0 und 90° beträgt und einem Winkel  $\alpha'_1$  zu einer Ebene mit axialer Flächennormale. Beide Streben 1a und 1'a sind jeweils über ein Fußpunktgelenk 7 bzw. 7a mit dem Trägerkörper 3 verbunden. Das Fußpunktgelenk 7 ist ebenfalls mit tangentialer Drehachse versehen. Ein zweites Gelenk 8 mit tangentialer Drehachse ist auf dem von dem Fußpunkt 2 abgewandten Ende mit der Strebe 1a verbunden. Die Strebe 1'a ist an ihrem von dem Fußpunktgelenk 7' abgewandten Ende mit einem dritten Gelenk 9, das ebenfalls mit einer tangentialen Drehachse versehen ist, verbunden. Das dritte Gelenk 9 ist im Mittelbereich der Strebe 1b angeordnet, welche axial ausgerichtet ist. Mit einem Ende ist die axiale Strebe 1b mit dem zweiten Gelenk 8 verbunden, während es am anderen Ende am Kopfpunkt bzw. Anbindungsstück 4 mit dem optischen Element 5 verbunden ist.

[0033] Die Figur 7 zeigt in der Draufsicht ein Ausführungsbeispiel mit zwei zusätzlichen Getriebeelementen 10 und 10' zwischen dem Trägerkörper 3 und dem optischen Element 5. Die "üblichen" Getriebeelemente 1 sind in der Figur 7 mit insgesamt 4 über den Umfang verteilten Elementen nur angedeutet. Durch die zusätzlichen Getriebeelemente 10 und 10' wird die Steifigkeit von lateralen Verschiebewegungen zwischen dem Trägerkörper 3 und dem optischen Element 5 erhöht. Die zusätzlichen Getriebeelemente 10 und 10' bestehen aus je einem Anbindungsstück bzw. Fußpunkt 11 und 11' zum Trägerkörper und jeweils einem Fußpunktgelenk 12 bzw. 12'. Das Gelenk 12 bzw. 12' ist mit tangentialem und axialem Drehfreiheitsgrad versehen. Eine Blattfeder bzw. Strebe 13 ist radial ausgerichtet und an einem Ende mit dem Fußpunktgelenk 12 bzw. 12' verbunden. Das jeweils andere Ende der Strebe 13 bzw. 13' ist jeweils über ein Gelenk 14 bzw. 14' mit tangentialem und axialem Drehfreiheitsgrad mit dem Kopfpunkt bzw. dem Anbindungsstück 15 bzw. 15' verbunden. Das Anbindungsstück 15 bzw. 15' bildet die Anbindung zu dem optischen Element 5.

[0034] In der Figur 8 sind drei zusätzliche Getriebeelemente 16 dargestellt, die gleichmäßig über den Umfang verteilt angeordnet sind. Die drei zusätzlichen Getriebeelemente 16 sind zwischen dem Trägerkörper 3 und dem optischen Element 5 angeordnet und haben die Funktion die Steifigkeit von lateralen Verschiebewegungen und axialer Rotation zwischen Trägerkörper 3 und optischem Element 5 zu erhöhen.

[0035] Jedes der drei Getriebeelemente 16 weist ein Fußpunktgelenk 18 mit tangentialem und axialem Dreh-

freiheitsgrad auf und ist über ein Anbindungsstück bzw. einen Fußpunkt 17 mit dem Trägerkörper 3 verbunden. Jeweils eine zu dem optischen Element 5 tangential ausgerichtete Strebe 19 ist an einem Ende jeweils mit dem Fußpunktgelenk 18 und mit seinem anderen Ende mit einem Kopfpunktgelenk 20 verbunden. Das Kopfpunktgelenk 20 ist mit axialem und tangentialem Drehfreiheitsgrad versehen. Jedes Kopfpunktgelenk 20 ist über einen Kopfpunkt bzw. ein Anbindungsstück 21 mit dem optischen Element 5 verbunden.

[0036] In der Figur 9 ist eine Ausgestaltung eines Getriebeelementes 1 und eines dazu spiegelbildlich angeordneten Getriebeelementes 1' dargestellt, welches ähnlich im Aufbau ist wie das anhand der Figur 5 beschriebene Ausführungsbeispiel. Anstelle einer direkten Anbindung der beiden Getriebeelemente 1 und 1' erfolgt hier die Anbindung über dazwischengeschaltete Blattfedern 22, wobei in der Figur 9 beispielsweise zwei nebeneinander bzw. radial hintereinander angeordnete Blattfedern 22 vorgesehen sind. Die Blattfedern 22 sind dabei jeweils mit einem Ende über das Anbindungsstück 4' mit dem optischen Element 5 verbunden, während das jeweils andere Enden an dem Verbindungsstück 4, durch das die beiden Getriebeelemente 1 und 1' miteinander verbunden sind, befestigt ist. Grundsätzlich ist der Getriebeelementenaufbau jedoch gleich wie bei dem Ausführungsbeispiel nach der Figur 5. Die zusätzlichen Blattfedern 22 können auch bei den anderen Ausführungsbeispielen eingesetzt werden. Dies betrifft insbesondere die Getriebeelemente nach der Figur 3 und der Figur 6, bei denen der Momentanpol der Bewegung des Anbindungsstückes zum optischen Element 5 nicht auf der Höhe dieses Anbindungselementes bzw. des Kopfpunktes 4 liegt. Gemeint ist dabei diejenige Bewegung des Anbindungsstückes, wenn das optische Element 5 noch nicht adaptiert ist.

[0037] Durch die zusätzlichen Blattfedern wird eine Erniedrigung der radialen Steifigkeit der mit dem jeweiligen Getriebeelement 1 realisierten Verbindung zwischen Trägerkörper 3 und optischem Element 5 erreicht.

[0038] Figur 10 stellt zur Figur 9 die Konstellation dar, bei der die Anbindungsebene 23 ungleich der Momentanpolebene 24 ist. Mit "P" ist der Momentanpol der Bewegung des Viergelenk-Getriebes angegeben. Der Bewegungsvektor  $f$  im Getriebeelementkopf 4' besteht dann außer aus einer axialen Komponente  $f_a$  auch aus einem radialen Anteil  $f_r$ . Bei montiertem optischen Element würde dementsprechend eine relativ große radiale Kraft auf das optische Element wirken. Diese Radialkraft kann dann so groß werden, daß durch einfache Variation der Getriebeparameter es nicht möglich ist, ein zur Kompensation geeignetes Verhältnis von Axialkraft, Radialkraft und Tangentialmoment zu erreichen. Aus diesem Grund werden die zusätzlichen Blattfedern 22 eingesetzt. Diese reduzieren die bei Fußpunktbewegungen auftretende radiale Kraft im Kopfpunkt 4' so stark, daß eine für die Kompensation geeignete Abstimmung

mung der Lastenverhältnisse möglich wird.

[0039] Bei den vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen sind die Getriebeelemente jeweils direkt an dem optischen Element angebunden. Selbstverständlich ist es im Rahmen der Erfindung auch möglich die Getriebeelemente an einem gefaßten optischen Element bzw. an einer Fassung 5' des optischen Elementes 5 anzubinden (wie in Figur 3 angedeutet).

[0040] Die Figur 11 zeigt eine Ausgestaltung eines Getriebeelementes mit zusätzlichen Drehgelenken 25 (in der Zeichnung zur Vereinfachung nur eines dargestellt) mit radialen Drehachsen. Wie ersichtlich, ist das zusätzliche Drehgelenk 25 als Festkörpergelenk mit einem dünnen Verbindungssteg ausgebildet, um die Übertragung radialer Momente auf das optische Element 5 oder dessen Fassung 5' zu minimieren. Dargestellt ist dabei das zusätzliche Drehgelenk 25 anhand eines Ausführungsbeispiels nach der Figur 4. Selbstverständlich sind derartige zusätzliche Drehgelenke 25 auch bei den anderen Ausführungsbeispielen möglich.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Lagerung eines optischen Elementes, insbesondere einer Linse, in einer Baugruppe mit folgenden Merkmalen:
  - 1.1 einem Trägerkörper (3) und zwei oder mehr Getriebeelementen (1),
  - 1.2 der Trägerkörper (3) ist einerseits mit einer äußeren Tragstruktur (30) und über Fußpunkte (2) mit den Getriebeelementen (1) verbunden,
  - 1.3 die Getriebeelemente (1) sind über Kopfpunkte (4) direkt mit dem optischen Element (5) oder indirekt über eine dazwischen angeordnete Fassung (5') mit dem optischen Element (5) verbunden,
  - 1.4 die Kopfpunkte (4) der Getriebeelemente (1) befinden sich in Symmetrieebenen des optischen Elementes (5), die durch die axiale Achse und eine radiale Achse des optischen Elementes (5) aufgespannt sind,
  - 1.5 die Getriebeelemente (1) sind so angeordnet und dimensioniert, daß sich bei Störungseinwirkungen ein Kompensationseffekt hinsichtlich der Deformation der optischen Oberfläche des optischen Elementes (5) ergibt, wobei
  - 1.6 der Kompensationseffekt dann gegeben ist, wenn der RMS-Wert der Summe derjenigen Teildeformationen der optischen Oberfläche des optischen Elementes (5), die durch eine axiale, eine radiale Kraft und ein tangentiales Element an einem beliebigen Kopfpunkt (4) eines Getriebeelementes (1) verursacht werden, um mindestens den Faktor 2 kleiner ist als der größte RMS-Wert einer der drei genannten
- Teildeformationen.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der RMS-Wert um mindestens den Faktor 4 kleiner ist als der größte RMS-Wert einer der drei genannten Teildeformationen.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Getriebeelemente (1) Streben, Gelenke (6,7,8,9) und/oder Blattfedern aufweisen, wobei die Gelenke spielfrei und ohne Rastmomente sind.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Gelenke (6,7,8,9) zumindest teilweise als Festkörpergelenke ausgeführt sind.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Kompensationseffekt für Störungen vorgesehen ist, welche zu einer Veränderung der relativen Position und der Orientierung der Fußpunkte (2) der Getriebeelemente (1) führen.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Kompensationseffekt für Veränderungen der Anbindungslasten in den Kopfpunkten (4) der Getriebeelemente (1) vorgesehen ist, die durch Beschleunigungen hervorgerufen werden.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem mit einer Fassung (5') versehenen optischen Element (5) die Anbindungen des optischen Elementes (5) an die Fassung (5') im Bereich zwischen dem äußeren Durchmesser und der Hälfte des äußeren Durchmessers des optischen Elementes (5) liegen.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Getriebeelement (1) eine axial ausgerichtete Strebe (1a) aufweist, die an einem Ende einen Fußpunkt (Anbindungsstück 2) zu dem Trägerkörper (3) bildet, während das andere Ende mit einem Gelenk (6) verbunden ist, das mit einer tangentialen Drehachse versehen ist, wobei sich an das Gelenk (6) eine zweite radial ausgerichtete Strebe (1b) mit einem Ende anschließt, wobei das andere Ende den Kopfpunkt (Anbindungsstück 4) an das optische Element (3) oder dessen Fassung (5') bildet. (Fig. 3)
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Getriebeelement (1) über ein Fußpunktgelenk (7) mit tangentialer Drehachse als Fußpunkt mit dem Trägerkörper (3) verbunden ist, wobei eine Strebe (1a) mit dem Fußpunktgelenk (7) an einem Ende und mit einem

zweiten Gelenk (8) verbunden ist und unter einem Winkel  $\alpha$  zu einer Ebene mit axialer Flächennormalen ausgerichtet ist, wobei der Winkel  $\alpha$  zwischen 0 und 90° beträgt und das zweite Gelenk (8) eine tangentiale Drehachse aufweist, und wobei sich an das zweite Gelenk (8) eine zweite Strebe (1b) in axialer Ausrichtung anschließt, das mit seinem anderen Ende den Kopfpunkt (4) zu dem optischen Element (5) oder dessen Fassung (5') bildet. (Figur 4)

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich zu dem aus dem Fußpunktgelenk (7), der ersten Strebe (1a), dem zweiten Gelenk (8) und der zweiten Strebe (1b) gebildeten Getriebeelement (1) ein weiteres spiegelbildlich dazu angeordnetes Getriebeelement (1') vorgesehen ist, wobei beide zweite Streben (1b, 1'b) einen gemeinsamen Kopfpunkt (4) als Anbindung an das optische Element (5) oder dessen Fassung (5') aufweisen. (Figur 5)

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Spiegelungsebene (S) eine axiale Flächennormale besitzt und daß die beiden spiegelbildlich angeordneten Getriebeelemente (1, 1') zusammen ein Viergelenk bilden, bei dem der Momentanpol (P) der Bewegung des gemeinsamen Kopfpunktes (Anbindungsstück 4) in einer Ebene liegt, die eine axiale Flächennormale besitzt und die auf der Höhe des Kopfpunktes liegt. (Figur 5)

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Getriebeelement (1) aus folgenden Einzelteilen gebildet ist:

- a) an dem Fußpunkt (2) ist ein Fußpunktgelenk (7) mit tangentialer Drehachse angeordnet,
- b) an einem Ende ist eine erste Strebe (1a) mit dem Fußpunktgelenk (7) und am anderen Ende mit einem zweiten Gelenk (3) verbunden,
- c) die erste Strebe (1a) ist unter einem Winkel  $\alpha_1$  zu einer Ebene mit axialer Flächennormalen ausgerichtet, wobei der Winkel  $\alpha$  zwischen 0 und 90° beträgt,
- d) das zweite Gelenk (8) weist eine tangentiale Drehachse auf,
- e) ein zweites Anbindungsstück (2a) an dem Trägerkörper (3) bildet ein zweites Verbindungselement zum Trägerkörper (3),
- f) ein zweites Fußpunktgelenk (7a) mit tangentialer Drehachse ist mit dem Anbindungsstück (2a) verbunden,
- g) eine zweite Strebe (1'a) ist an einem Ende mit dem zweiten Fußpunktgelenk (7a) und am anderen Ende mit einem dritten Gelenk (9) verbunden,
- h) die zweite Strebe (1'a) ist in einem Winkel  $\alpha_2$  zu einer Ebene mit axialer Flächennormalen

ausgerichtet,

i) der Winkel  $\alpha_2$  liegt zwischen 0 und 90°,

j) eine dritte Strebe (1b) ist mit ihrem einen Ende mit dem zweiten Gelenk (8), im Mittenbereich mit dem dritten Gelenk (9) und am anderen Ende mit dem Kopfpunkt (4) als Anbindungsstück mit dem optischen Element (5) oder der Fassung (5') des optischen Elementes (5) verbunden, und

k) die dritte Strebe (9) ist axial ausgerichtet. (Figur 6)

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß neben den Getriebeelementen (1) zwei zusätzliche Getriebeelemente (10, 10') zwischen dem Trägerkörper (3) und dem optischen Element (5) oder dessen Fassung (5') zur Erhöhung der Steifigkeit von lateralen Verschiebewebewegungen zwischen Trägerkörper (3) und optischem Element (5) oder dessen Fassung (5') mit folgenden Merkmalen vorgesehen sind:

a) jeweils einem Anbindungsstück (11, 11') zum Trägerkörper (3),

b) einem Gelenk (12, 12') mit tangentialem und axialem Drehfreiheitsgrad, das mit dem Anbindungsstück (11, 11') verbunden ist,

c) einer radial ausgerichteten Strebe (13, 13'), die an einem Ende mit dem Gelenk (12, 12') und am anderen Ende mit einem zweiten Gelenk (14, 14') verbunden ist,

d) das zweite Gelenk (14, 14') ist mit tangentialem und axialem Drehfreiheitsgrad versehen und

e) das zweite Gelenk (14, 14') ist mit einem zweiten Anbindungsstück (15, 15') verbunden, welches die Anbindung zum optischen Element (5) oder dessen Fassung (5') bildet. (Figur 7)

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß neben den Getriebeelementen (1) drei zusätzliche Getriebeelemente (16) zwischen Trägerkörper (3) und optischem Element (5) bzw. dessen Fassung (5') zur Erhöhung der Steifigkeit von lateralen Verschiebewebewegungen und der axialen Rotation zwischen Trägerkörper (3) und dem optischen Element (5) bzw. dessen Fassung (5') mit folgenden Merkmalen vorgesehen sind:

a) ein Anbindungsstück (17) zum Trägerkörper (3),

b) ein erstes Gelenk (18) mit tangentialem und axialem Drehfreiheitsgrad, das mit dem Anbindungsstück (17) verbunden ist,

c) eine tangential ausgerichteten Strebe (19), die an einem Ende mit dem ersten Gelenk (18) und am anderen Ende mit einem zweiten Ge-

lenk (20) verbunden ist,

d) das zweite Gelenk (20) ist mit tangentialem und axialem Drehfreiheitsgrad versehen und mit einem zweiten Anbindungsstück (21) verbunden, und 5

e) das zweite Anbindungsstück (21) bildet die Anbindung zum optischen Element (5) oder dessen Fassung (5'). (Figur 8)

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß zur Minimierung der Übertragung radialer Momente auf das optische Element (5) oder dessen Fassung (5') im Bereich der jeweiligen Kopfpunkte (4) als Anbindungsstellen zum optischen Element (5) oder dessen Fassung (5') zusätzlich Drehgelenke (25) mit radialer Drehachse angebracht sind. (Figur 11) 10 15
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Getriebeelemente (1) zur Erniedrigung der radialen Steifigkeit der mit dem jeweiligen Getriebeelement realisierten Verbindung zwischen dem Trägerkörper (3) und dem optischen Element (5) oder dessen Fassung (5') mit zusätzlichen Blattfedern (22) versehen sind. (Figur 9) 20 25
17. Objektiv für eine Halbleiter-Lithographie-Belichtungsanlage mit einer Vorrichtung zur Lagerung eines optischen Elements nach einem der Ansprüche 1 bis 16. 30

35

40

45

50

55



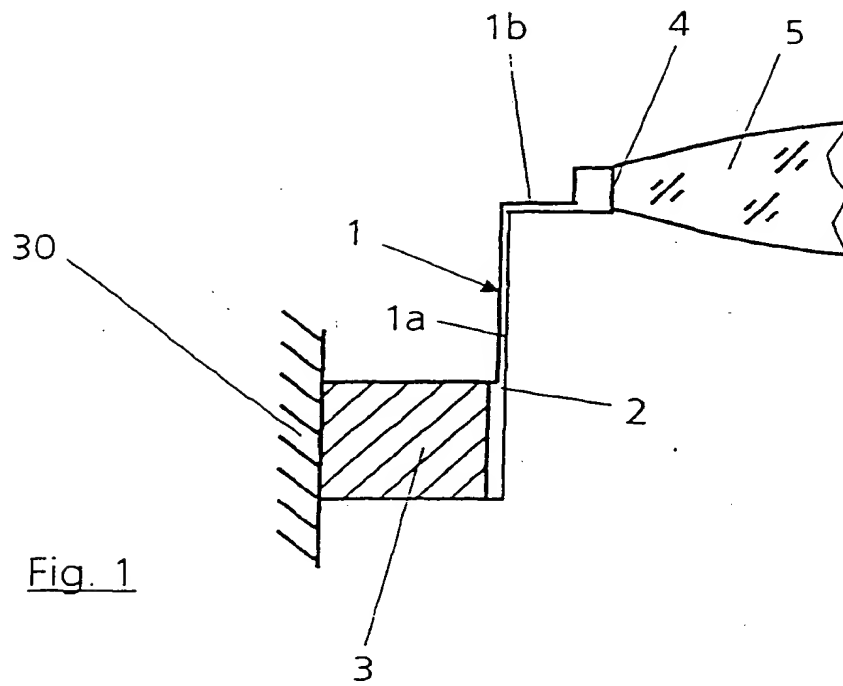


Fig. 1

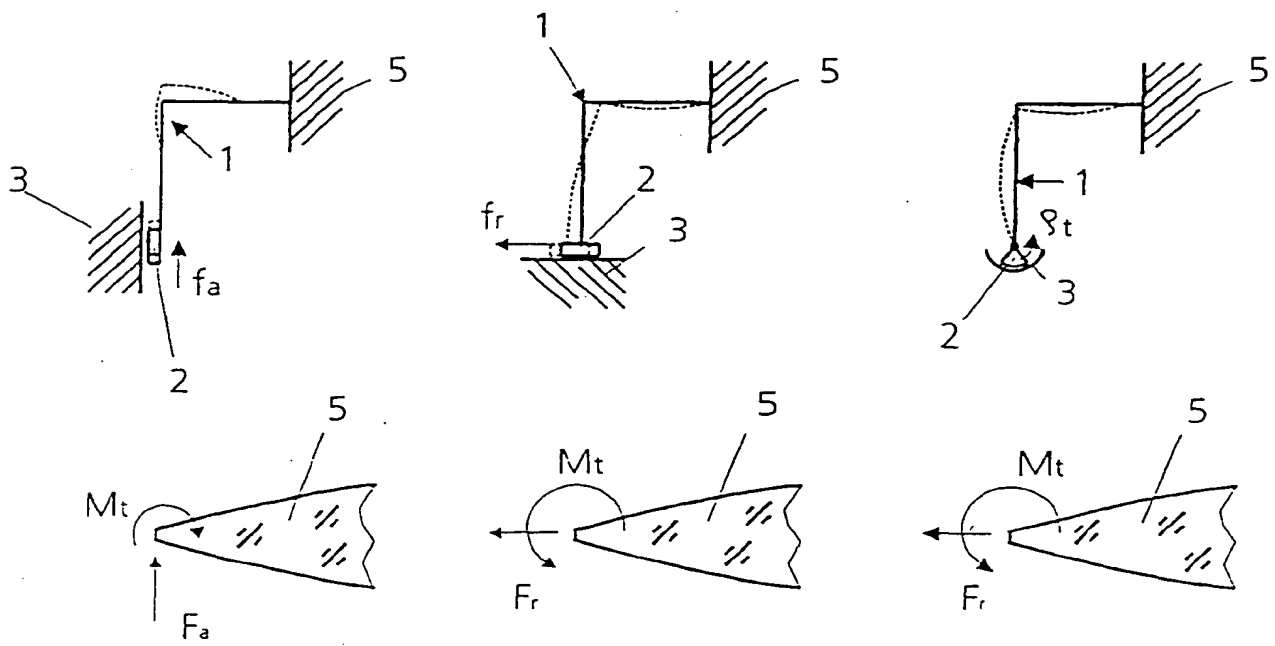


Fig. 2a

Fig. 2b

Fig. 2c

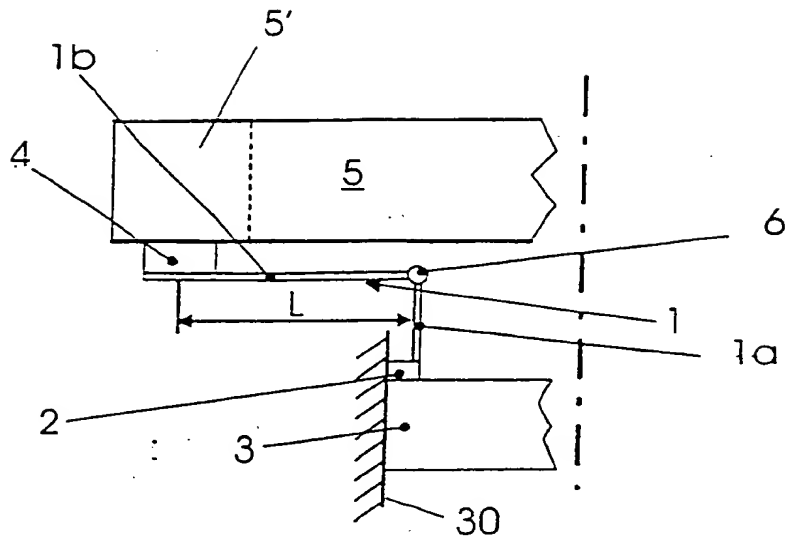


Fig. 3

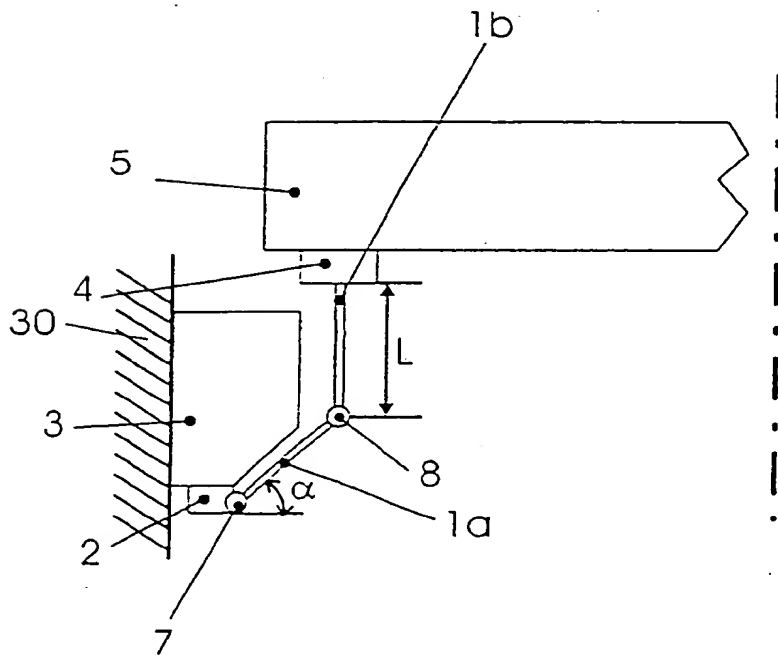


Fig. 4

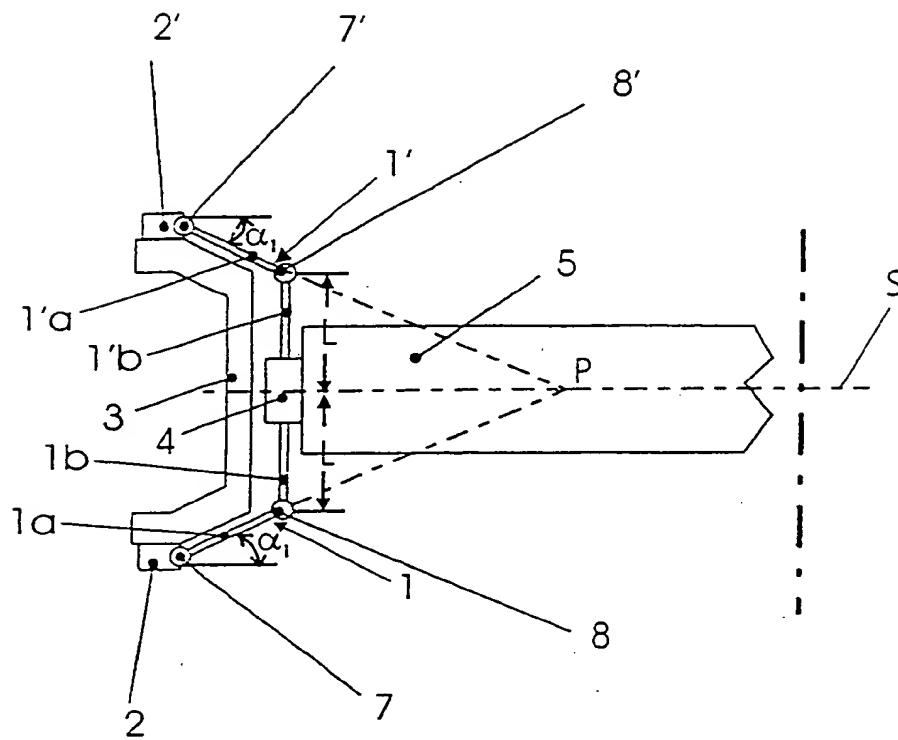


Fig. 5

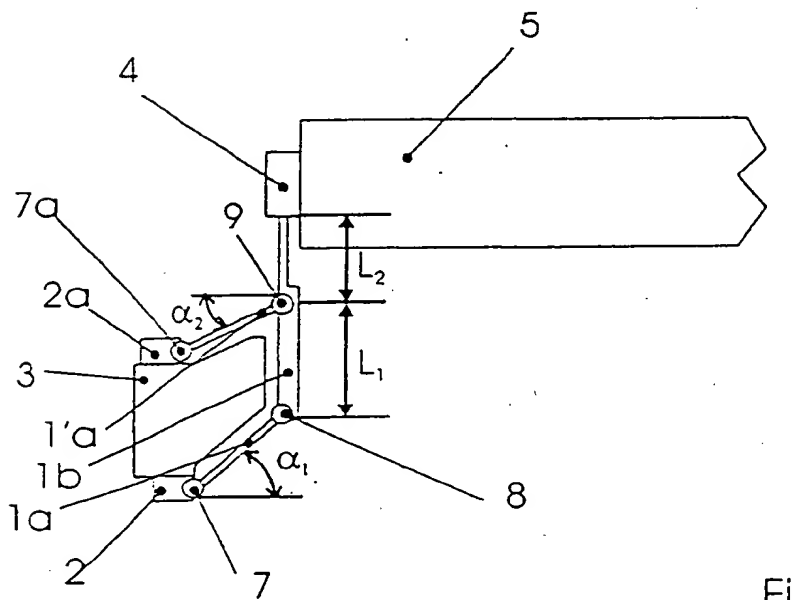


Fig. 6

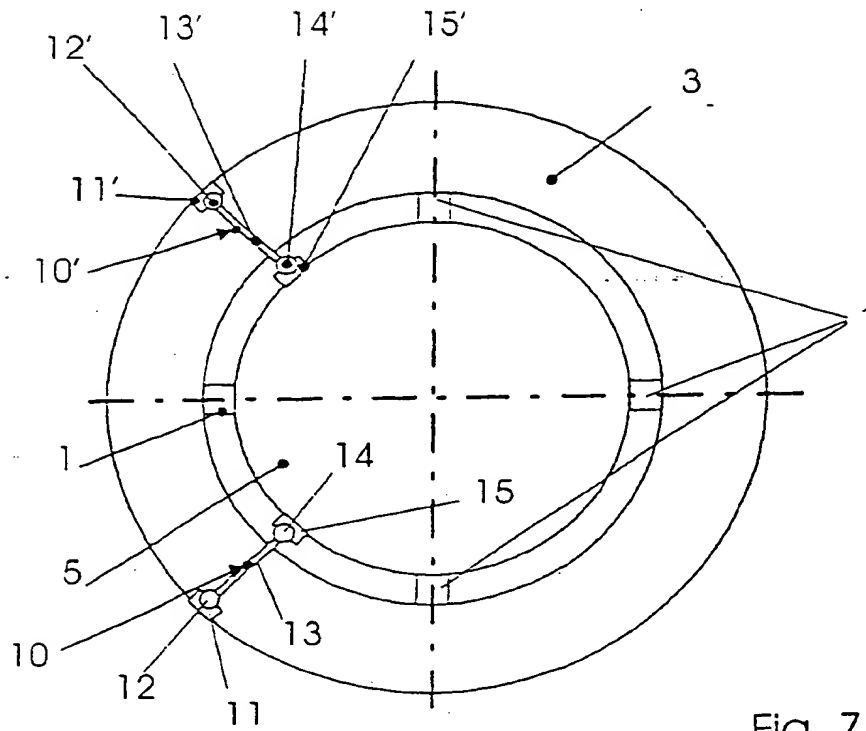


Fig. 7

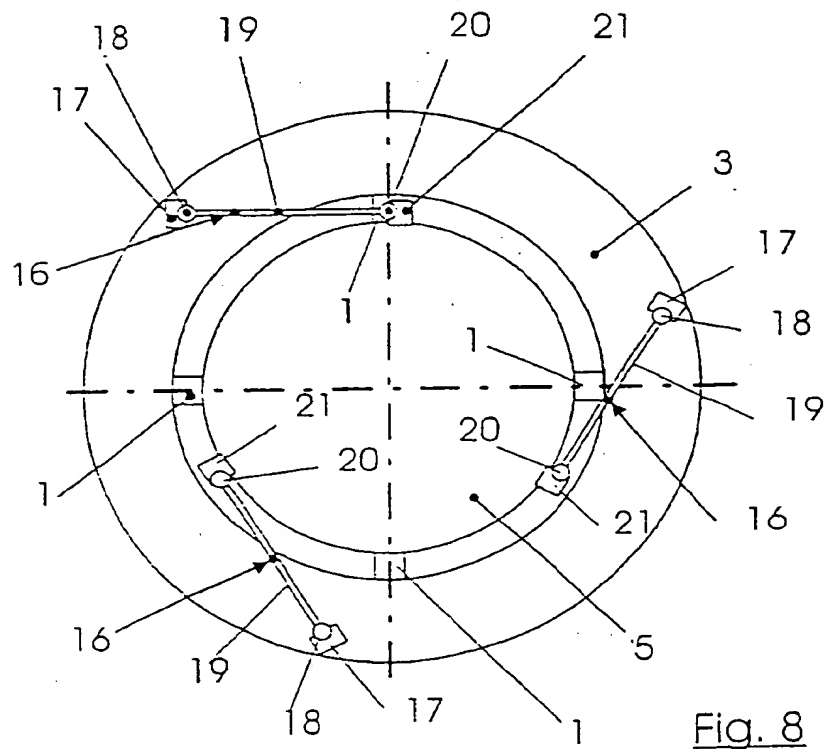


Fig. 8

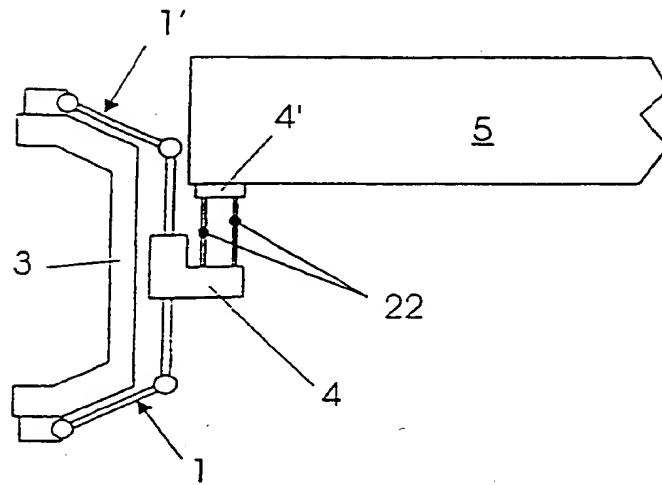


Fig. 9

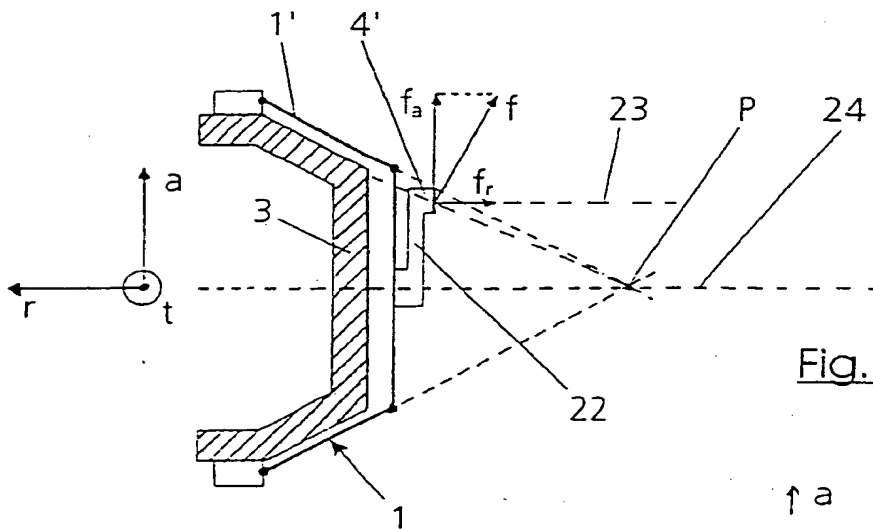


Fig. 10

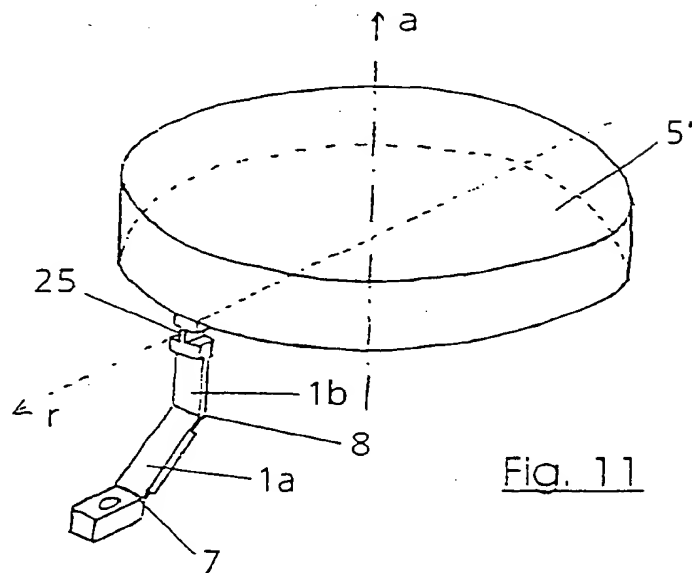


Fig. 11